

日本国特許庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

JC921 U.S. PTO  
09/675220  
09/29/00

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出願年月日

Date of Application:

2000年 1月28日

出願番号

Application Number:

特願2000-019934

出願人

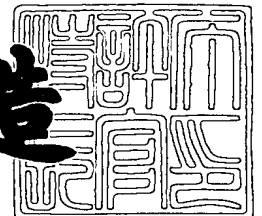
Applicant(s):

国際電気株式会社

2000年 9月 1日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3070666

【書類名】 特許願  
【整理番号】 KEIA1202  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01L 21/20  
C23C 16/46

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中野区東中野三丁目 1 4 番 2 0 号 国際電気株式  
会社内

【氏名】 中野 稔

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中野区東中野三丁目 1 4 番 2 0 号 国際電気株式  
会社内

【氏名】 上野 正昭

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中野区東中野三丁目 1 4 番 2 0 号 国際電気株式  
会社内

【氏名】 田中 和夫

【特許出願人】

【識別番号】 000001122

【氏名又は名称】 国際電気株式会社

【代理人】

【識別番号】 100097250

【弁理士】

【氏名又は名称】 石戸 久子

【選任した代理人】

【識別番号】 100101111

【弁理士】

【氏名又は名称】 ▲橋▼場 満枝

【選任した代理人】

【識別番号】 100101856

【弁理士】

【氏名又は名称】 赤澤 日出夫

【電話番号】 03-3775-5391

【選任した代理人】

【識別番号】 100103573

【弁理士】

【氏名又は名称】 山口 栄一

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 038760

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体製造装置の温度制御方法、半導体製造装置、および半導体デバイスの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数ゾーンに対応する複数の加熱源を備えた反応室を有する半導体製造装置の温度制御方法において、

前記反応室の異なる複数の温度に対応して、前記複数の加熱源それぞれに出力するパワーの比率をパワー比率として定めておき、

前記複数の温度に対応して定められた前記複数の加熱源それぞれのパワー比率を用いて各加熱源のパワー制御を行って温度制御を行うようにしたことを特徴とする半導体製造装置の温度制御方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の半導体製造装置の温度制御方法において、前記パワー比率を定める複数の温度は、それぞれ所定の幅を有して定められていることを特徴とする半導体製造装置の温度制御方法。

【請求項 3】 請求項 1 または請求項 2 に記載の半導体製造装置の温度制御方法において、

前記反応室の任意の温度に対応する各加熱源のパワー比率が、前記反応室における所定の温度に対応して定められている既設定のパワー比率を用いて定められることを特徴とする半導体製造装置の温度制御方法。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の半導体製造装置の温度制御方法において、前記反応室の任意の温度に対応する各加熱源のパワー比率は、前記所定の温度における既設定のパワー比率を、前記任意の温度と所定の温度とを用いて線形補間することにより定められることを特徴とする半導体製造装置の温度制御方法。

【請求項 5】 請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに記載の半導体製造装置の温度制御方法において、

前記温度制御は P I D 演算を用いて行われ、

I 演算出力値に対するパワー比率と、P または D 演算出力値に対するパワー比率が異なっていることを特徴とする半導体製造装置の温度制御方法。

【請求項 6】 請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに記載の半導体製造装置の

温度制御方法において、

前記温度制御は P I D 演算を用いて行われ、

前記パワー比率は I 演算出力値にのみ乗じられて制御出力として用いられることを特徴とする半導体製造装置の温度制御方法。

【請求項 7】 請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに記載の半導体製造装置の温度制御方法において、

前記温度制御は P I D 演算を用いて行われ、

前記パワー比率は、ウェハの反応処理時には P I D 演算出力値に乗じて制御出力として用いられ、反応室へのウェハロード時には I 演算出力値にのみ乗じて制御出力として用いられることを特徴とする半導体製造装置の温度制御方法。

【請求項 8】 請求項 1 乃至請求項 7 のいずれかに記載の半導体装置の温度制御方法において、

前記パワー比率を変更する際の参照温度として、反応室の温度設定値を用いることを特徴とする半導体装置の温度制御方法。

【請求項 9】 請求項 1 乃至請求項 7 のいずれかに記載の半導体製造装置の温度制御方法において、

前記パワー比率を変更する際の参照温度は、反応室へのウェハロード時には温度設定値を用い、ウェハの反応処理時には温度実測値を用いることを特徴とする半導体製造装置の温度制御方法。

【請求項 1 0】 請求項 1 乃至請求項 9 のいずれかに記載の半導体製造装置の温度制御方法において、

前記半導体製造装置の反応室が、ウェハを載置して回転するサセプタと、そのサセプタ周囲に固定して設けられたリング台とを有しており、

前記反応室の温度を検出する温度検出手段を反応室内のウェハ回転中心部とウェハ周辺部の両方に設けたことを特徴とする半導体製造装置の温度制御方法。

【請求項 1 1】 複数ゾーンに対応する複数の加熱源を備えた反応室を有する半導体製造装置であって、

前記反応室の異なる複数の温度に対応して、前記複数の加熱源それぞれに出力するパワーの比率をパワー比率として定めておき、

前記複数の温度に対応して定められた前記複数の加熱源それぞれのパワー比率を用いて各加熱源のパワー制御を行って温度制御を行うことを特徴とする半導体製造装置。

【請求項 1 2】 複数ゾーンに対応する複数の加熱源を備えた反応室を有する半導体製造装置による半導体デバイスの製造方法であって、

前記反応室の異なる複数の温度に対応して、前記複数の加熱源それぞれに出力するパワーの比率をパワー比率として定めておき、

前記複数の温度に対応して定められた前記複数の加熱源それぞれのパワー比率を用いて各加熱源のパワー制御を行って反応室内を温度制御して半導体デバイスを製造することを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、基板の均一加熱を行うための半導体製造装置の温度制御方法等、該温度制御方法を実行する温度制御装置を有する半導体製造装置、および該温度制御方法を実行して半導体デバイスを製造する半導体デバイスの製造方法に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

例えば、枚葉エピタキシャル装置においては、加熱炉にシリコンウェハ等の基板を収容し、加熱炉内を所定の温度に昇温して加熱しつつ反応ガスを供給して、基板上に薄膜を形成する。この枚葉エピタキシャル装置においては、加熱炉内の温度条件の設定が極めて重要であり、定温維持時ばかりでなく昇降温過程においてもウェハ内の温度均一性が要求され、この温度制御の精度が製造される半導体デバイスの品質に大きく影響する。すなわち、枚葉エピタキシャル装置においては、縦型拡散炉のようなバッチ処理炉に比べ、よりウェハ内の温度均一性が要求される。

【 0 0 0 3 】

従来、加熱炉内の温度を均一化させるための技術としては、例えば、特開昭 6

4-8225号公報が知られている。この公報に開示されている温度制御方法は、被熱物のセンタ部を加熱する電熱ヒータと、被熱物のエッジ部を加熱する電熱ヒータとを炉内に備え、温度計により測定される被熱物の加熱温度と設定温度の差に基づいて電熱ヒータを制御すると共に、エッジ部の電熱ヒータに供給されるパワーがセンタ部の電熱ヒータに供給されるパワーよりも常に低比率をもって低位に保たれるようにしたものである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、枚葉エピタキシャル装置においては、上述したように、昇降温過程においてもウェハ内の温度均一性が厳しく要求され、上記公報に示された技術においては、半導体デバイスの品質を維持するべく、常にウェハ内の温度均一性を維持することが困難である。一方、枚葉エピタキシャル装置の温度制御において、実際のプロセス時には、パーティクルの発生を防ぐため、反応管内の各部に温度センサを設けて温度モニタを行うことはできない。従って、従来より枚葉エピタキシャル装置における温度制御においては、各部の温度を実測することなく、ウェハ内における加熱温度の均一化を図れる技術が要望されている。

【0005】

本発明は、かかる従来の課題を解決するためになされたものであり、プロセス時において、複数ゾーンの各部の温度を検出することなく、一部の温度を用いることにより、設定されるどのような温度領域においても、基板面内の均一な温度制御を可能とすることができ、もって製造される半導体デバイスの品質を向上させることができる半導体製造装置の温度制御方法、このような温度制御方法を行う半導体製造装置、およびこのような温度制御方法を用いる半導体デバイスの製造方法を得ることを目的としている。

【0006】

【課題を解決するための手段】

上述した課題を解決するため、本発明は、複数ゾーンに対応する複数の加熱源を備えた反応室を有する半導体製造装置の温度制御方法において、前記反応室の異なる複数の温度に対応して、前記複数の加熱源それぞれに出力するパワーの比

率をパワー比率として定めておき、前記複数の温度に対応して定められた前記複数の加熱源それぞれのパワー比率を用いて各加熱源のパワー制御を行って温度制御を行うようにしたことを特徴とするものである。

## 【 0 0 0 7 】

ウェハ内温度が均一になるときは、加熱源により発生され反応室内に留まる熱と、反応室から逃げる熱が均衡している状態であるが、この均衡状態は反応室やウェハの各部によって異なる。熱の逃げやすい部分では加熱源のパワーを熱の逃げにくい部分に比べて大きくしなければならない。そこで、反応室内の各部に対応するゾーンを設け、各ゾーンにおける温度を均一とするためのパワー比率を温度に対応して取得しておいて、各温度においてそのパワー比率を用いるようにすれば、昇降温過程のような温度変動時においても炉内温度を速やかに均一温度に安定化させることができる。従って、このような温度制御方法によれば、ランプアップ時や異なる温度で反応処理（デポ、エッチング等）を行う場合、複数ゾーンの全ての温度を検出することなく、一部のゾーンの温度を用いて、複数ゾーンにおける最適のパワー比率を選択することができて、基板面の均一な温度制御を可能とすることができる。

## 【 0 0 0 8 】

また、本発明に係る半導体製造装置の温度制御方法において、前記パワー比率を定める複数の温度は、それぞれ所定の幅を有して定められていることを特徴とするものである。

## 【 0 0 0 9 】

このような構成によれば、予め定めておくパワー比率を所定の幅を有する温度毎に定めればよいので、その設定が容易となり、また、例えばパワー比率をテーブルに登録する場合、その登録数を減少させることができ、記憶容量の減少を図れる。

## 【 0 0 1 0 】

また、本発明に係る半導体製造装置の温度制御方法は、前記反応室の任意の温度に対応する各加熱源のパワー比率が、前記反応室における所定の温度に対応して定められている既設定のパワー比率を用いて定められることを特徴とするもの



である。

【0011】

このような構成によっても、所定のゾーンの全ての検出温度に対応する各加熱源のパワー比率を設ける必要がなく、その設定が容易となり、記憶容量の減少を図ることもできる。

【0012】

また、本発明に係る半導体製造装置の温度制御方法において、前記反応室の任意の温度に対応する各加熱源のパワー比率は、前記所定の温度における既設定のパワー比率を、前記任意の温度と所定の温度とを用いて線形補間することにより定められることを特徴とするものである。

【0013】

このような構成によれば、線形補間を用いることにより、全ての温度に対応してパワー比率を設定しておかなくても、代表的な所定の温度におけるパワー比率を用いて任意の温度におけるパワー比率を精度良く定めることができる。

【0014】

また、本発明に係る半導体製造装置の温度制御方法において、前記温度制御はPID演算を用いて行われ、I演算出力値に対するパワー比率と、PまたはD演算出力値に対するパワー比率が異なっていることを特徴とするものである。

【0015】

PID演算において、Pは比例演算、Iは積分演算、Dは微分演算を示し、P演算出力値やD演算出力値は温度の変化に対して大きく変動するのに対して、I演算出力値はPやD演算出力値に対して大きな変化を生じない。従ってこれらを組み合わせることにより、常にほぼ一定の温度変化過程を通じて速やかに、均一温度に安定化させることができ、例えば、ウェハロード時の温度変動時における温度変化履歴の再現性向上即ち、処理バッチ毎のウェハの熱履歴の均一性向上が期待できる。

【0016】

また、本発明に係る半導体製造装置の温度制御方法において、前記温度制御はPID演算を用いて行われ、前記パワー比率はI演算出力値にのみ乗じられて制

御出力として用いられることを特徴とするものである。

【 0 0 1 7 】

I 演算出力値は積分出力のため、ガス流入時やウェハ投入時のような外乱発生時に温度の急変化があっても、P や D 演算出力値のように大きな変化を受けることがない。従って、I 演算出力値に対してゾーン毎の比率を乗じる場合は P や D 演算出力値の変化の影響を受けることはない。よって、このような構成によれば、外乱に対する温度履歴が P I D 演算出力値全体にパワー比率を乗じる場合に比べて均一になりやすくなり、例えば、ウェハロード時の温度変動時における温度変化履歴の再現性向上が期待できる。

【 0 0 1 8 】

また、本発明に係る半導体製造装置の温度制御方法において、前記温度制御は P I D 演算を用いて行われ、前記パワー比率は、ウェハの反応処理時には P I D 演算出力値に乘じて制御出力として用いられ、反応室へのウェハロード時には I 演算出力値にのみ乘じて制御出力として用いられることを特徴とするものである。

【 0 0 1 9 】

P や D 演算出力値は温度の変化に対して大きく変動するのに対して、I 演算出力値は P や D 演算出力値に対して大きな変化を生じない。従って、外乱が無い状態時には P I D 演算出力値にパワー比率を乗じる一方、ウェハ挿入時などのような外乱発生時には I 演算出力値にのみパワー比率を乗じて制御出力とすることにより、より温度履歴の均一化が図れることとなる。ここで、外乱が無い状態時には、例えば堆積処理などの反応処理、ランプアップ、ダウン時があり、外乱発生時には、ウェハロード（ウェハ挿入）、アンロード（ウェハ払い出し）等がある。

【 0 0 2 0 】

また、本発明に係る半導体装置の温度制御方法は、前記パワー比率を変更する際の参照温度に、反応室の温度設定値を用いることを特徴とするものである。

【 0 0 2 1 】

温度設定値を用いるようにすれば、外乱のバラツキがバッチ間で生じる場合に

も温度再現性を高めることができる。

【 0 0 2 2 】

又、本発明に係る半導体製造装置の温度制御方法において、前記パワー比率を変更する際の参照温度は、反応室へのウェハロード時には温度設定値を用い、ウェハの反応処理時には温度実測値を用いることを特徴とするものである。

【 0 0 2 3 】

温度設定値を用いるようにすれば、ウェハロード時のように外乱のバラツキがバッチ間で生じる場合にも温度再現性を高めることができる。一方、ウェハの反応処理時のように、外乱にバラツキが無い場合は、温度実測値を用いた方が温度が精度良く分かっているので、再現性をより高めることができ、温度の収束（安定化）が早く行える。

【 0 0 2 4 】

また、本発明に係る半導体製造装置の温度制御方法は、前記半導体製造装置の反応室が、ウェハを載置して回転するサセプタと、そのサセプタ周囲に固定して設けられたリング台とを有しており、前記反応室の温度を検出する温度検出手段を反応室内のウェハ回転中心部とウェハ周辺部の両方に設けたことを特徴とするものである。

【 0 0 2 5 】

例えば枚葉エピタキシャル装置では、基板の中心部付近には回転軸があり、その回転軸を介して熱が逃げやすい。また基板の周辺部近傍には炉口部があり、やはり熱が逃げやすく、また熱の逃げ方も同じでない。一方、パーティクルの発生防止、スペース等の問題により温度センサを多くを配置することは好ましくない。

そこで、温度が不安定となり易い基板の中心部や周辺部の温度に対するパワー比率を設定しておけば、温度センサの設定箇所を最小限にすることができると共に、精度良く温度制御を行うことができる。

【 0 0 2 6 】

また、本発明に係る半導体製造装置は、複数ゾーンに対応する複数の加熱源を備えた反応室を有する半導体製造装置であって、前記反応室の異なる複数の温度

に対応して、前記複数の加熱源それぞれに出力するパワーの比率をパワー比率として定めておき、前記複数の温度に対応して定められた前記複数の加熱源それぞれのパワー比率を用いて各加熱源のパワー制御を行って温度制御を行うことを特徴とするものである。

【 0 0 2 7 】

このような半導体製造装置によれば、炉内温度を速やかに均一温度に安定化させることができ、製造される半導体デバイスの品質向上を図ることができる。

【 0 0 2 8 】

また、本発明に係る半導体デバイスの製造方法は、複数ゾーンに対応する複数の加熱源を備えた反応室を有する半導体製造装置による半導体デバイスの製造方法であって、前記反応室の異なる複数の温度に対応して、前記複数の加熱源それぞれに出力するパワーの比率をパワー比率として定めておき、前記複数の温度に対応して定められた前記複数の加熱源それぞれのパワー比率を用いて各加熱源のパワー制御を行って反応室内を温度制御して半導体デバイスを製造することを特徴とするものである。

【 0 0 2 9 】

このような半導体デバイスの製造方法によれば、均一化された炉内温度において半導体デバイスを製造することができるので、その品質を向上させることができる。

【 0 0 3 0 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を枚葉エピタキシャル装置に適用した場合について説明する。

図 1 は実施の形態に係る枚葉エピタキシャル装置の反応室を示す側面図である。

枚葉エピタキシャル装置では、加熱炉 1 の炉内（反応室内） 2 にシリコンウェハ 3（ウェハ）等の基板を収容し、反応室内 2 を所定の温度に加熱しつつ反応ガスを供給して、ウェハ 3 上に薄膜を形成する。加熱源は上下それぞれに設けられたリング形状のサークルランプ（0 ～ 1 2 ゾーン） 4， 5 で構成され、各サーク

ランプ4, 5の熱は主としてウェハ3を支持する熱容量の大きなサセプタ (S i Cサセプタ) 6、ウェハ3、そして流入される反応ガスにより吸収される。サークルランプ4の0~8ゾーンはセンタゾーンを構成し、9~12ゾーンはアウトゾーンを構成する。また、サークルランプ5の0~7ゾーンはセンタゾーンを構成し、8~12ゾーンはアウトゾーンを構成する。

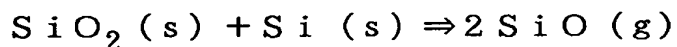
## 【0031】

実プロセスに用いる制御用温度センサ7, 8は加熱炉の中央と端に配置される。また、温度プロファイル用温度センサ9, 10は基板表面に11点 (0~10)、サセプタ表面に11点 (0~10) 配置される。この温度プロファイル用温度センサ9, 10は、実プロセスでは取り外され用いられないもので、予め各ゾーンの温度を測定してパワー比率を設定しておくために用いられる。なお、サセプタ6はその中央部が回転軸として作用する (S i C) サセプタ支持台11に回転可能に支持されている。その周端部には (S i C) リング台12が設けられている。また、加熱炉1、ウェハ3、サセプタ6、サセプタ支持台11、リング台12は平面視円形状をなしている。

## 【0032】

周知のように、金属シリコンは非常に反応性に富んだ物質であり、容易に酸素や水分と反応してその表面に酸化膜を形成する。また、通常のシリコンウェハは石英るつぼの中の溶融シリコンを回転引き上げて結晶成長したインゴットから切り出されており、その内部には酸素析出、空孔、空洞などのグローイン欠陥が  $10^6 / \text{cm}^3$  程度の密度で存在している。このため、エピタキシャル成長に先立ちシリコンウェハ表面からこれらの酸化膜や欠陥の除去が必要となる。そこで、シリコンウェハは1000℃以上の高純度水素ガス中でバークされている (図9 水素バーク参照)。酸化膜や酸素析出の除去には次の熱反応が用いられる。

## 【0033】



## 【0034】

また、欠陥は高温のリフロによって平滑し、理想的なシリコン結晶表面を準備する。エピタキシャル成長は、四塩化珪素 (S i C l<sub>4</sub>)、トリクロルシラン (

TCS,  $\text{SiCl}_3$ )、ジクロルシラン ( $\text{DCS}$ ,  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ )、モノシラン ( $\text{MS}$ ,  $\text{SiH}_4$ ) などシリコンを含むソースで水素ガスをキャリアガスとして CVD 法により行われる。

## 【0035】

図2は、実施の形態におけるランプコントローラの構成を示すブロック図である。このランプコントローラ20は加熱源の各サークルランプ4、5に供給する電力を調節するものであり、CPU201、ROM202、OS用RAM203、アプリケーション用RAM204、OS用NVRAM205、アプリケーション用NVRAM206を備えると共に、通信制御LSI制御用デバイスドライバ207を備えている。

## 【0036】

デバイスドライバ207には、各サークルランプ4のパワーを調節して出力するランプパワー出力ユニット21と、炉中央に設けられた制御用温度センサ7の出力を取り込む温度モニタユニット22と、炉端部に設けられた制御用温度センサ8の出力を取り込む温度モニタユニット23が接続されている。

## 【0037】

また、デバイスドライバ207にはウェハ表面温度を検出する温度プロファイル用温度センサ9の出力を取り込む温度モニタユニット24、及びサセプタ表面温度を検出する温度プロファイル用温度センサ10の出力を取り込む温度モニタユニット25が接続され、さらに表示、操作用のユニットである表示・操作ユニット26が接続されている。

## 【0038】

そして、ランプコントローラ20は、中央及び端部の制御用温度センサ7、8からの温度を読み取り、目標とする温度設定値と比較することにより制御演算を行う。制御演算の結果は、上下それぞれのサークルランプの出力値(0~100%)としてランプパワー出力ユニット21に一定間隔で送られる。温度モニタ値及び制御演算後の出力値は表示・操作ユニット26に送られ、これによりオペレータは制御状態をリアルタイムで知ることができる。

## 【0039】

各温度モニタユニット 2 2 ～ 2 5 は、各温度センサより出力されたアナログ温度信号をデジタル量に変換し、温度信号としてデジタル通信回線を通してランプコントローラ 2 0 に送出する。デジタル通信回線を使用することにより、対ノイズ性、絶対性能がアナログ通信に比して改善される。なお、温度モニタユニット 2 2, 2 3 はモニタの高速性が要求されるため、温度センサの接続数は最小限の一つとされている。温度モニタユニット 2 4, 2 5 は実プロセスに先立つプロファイル時に使用されるものであり、実プロセスの制御には使用されないため、温度モニタユニット 2 2, 2 3 ほどのモニタ高速性は要求されない。従って、温度モニタユニット 2 4, 2 5 にはそれぞれ 1 1 個の温度センサ（1 1 チャネル）が接続されている。

## 【 0 0 4 0 】

図 3 は実施の形態における制御方式を説明するためのブロック図である。

ランプコントローラ 2 0 の制御演算部 2 0 a により、センタゾーン 3 0 またはセンタゾーン 3 0 及びアウトゾーン 3 1 の出力値が算出されるが、パワー出力ゾーン 3 0, 3 1 はそれぞれについてさらに複数ゾーンに分割されているため、それぞれのゾーンについて出力値を設定する。アウトゾーンにある制御用温度センサ 8 により得られる P V 2 （アウト）と、目標となるアウト温度設定値との比較を行い、制御演算を行ってアウトゾーンにある加熱ゾーンのパワー出力制御を行う。

## 【 0 0 4 1 】

アウトゾーンは図 1 の例では、上ランプゾーン 9, 1 0, 1 1, 1 2、下ランプゾーン 8, 9, 1 0, 1 1, 1 2 である。センタゾーンにある制御用温度センサ 7 によって得られる P V 1 （センタ）と目標となるセンタ温度設定値との比較を行い、制御演算を行ってセンタゾーンにある加熱ゾーンのパワー出力制御を行う。センタゾーンは図 1 の例では、上ランプゾーン 0 ～ 8、下ランプゾーン 0 ～ 7 である。そして、実際の制御においては、予め温度プロファイルにより設定されるパワー比率をパワー比率テーブルから取得し、それぞれのゾーンの出力値に乗じて出力が決定される。ここで、パワー比率設定の手順は次のとおりである。

## 【 0 0 4 2 】

先ず、ウェハに処理を施す実プロセスに先立ち、ダミーウェハあるいはプロセスウェハを用いて、基板表面あるいはサセプタ表面上の温度プロファイル用温度センサ 9, 10 が所定の均一な温度範囲となるよう、ランプコントローラ 20 により上部、下部各ランプゾーンのランプ出力を制御する。そのときのランプ出力の比率を、その温度におけるパワー比率とする。これを実プロセスの温度変動範囲の中で適宜選択したいくつかの温度ポイントにおいて実行し、各温度におけるパワー比率を求める。以上により求めたパワー比率をパワー比率テーブルに登録しておく。出力の決定方式は、例えば次の 2 種類が設けられる。

## 【 0 0 4 3 】

- (1) それぞれのゾーンの出力 = P I D 演算出力値 × それぞれのゾーンのパワー比率 (P I D パワー比率制御)
- (2) それぞれのゾーンの出力 = P D 演算出力値 + I 演算出力値 × それぞれのゾーンのパワー比率 (P D - I パワー比率制御)

## 【 0 0 4 4 】

図 4 は炉内温度が 7 0 0 ℃ のときのパワー比率テーブルを示し、図 5 は炉内温度が 5 0 0 ℃ のときのパワー比率テーブルを示している。

各テーブルにおいて、T B L N o は電力比率テーブル番号を示し、実施の形態では 1 ~ 9 の合計 9 種が用意されている。S V は電力比率を取得したときの設定温度を示している。R a t e H 0 - 1 2 は電力比率を示し、上部ランプ 0 ~ 1 2 ゾーンに対応して示している。R a t e L 0 - 1 2 は電力比率を示し、下部ランプ 0 ~ 1 2 ゾーンに対応して示している。

## 【 0 0 4 5 】

また、T \_ a d j \_ C は中央の制御用温度センサ 7 (サセプタ下部) とウェハ中央点との温度差を示し、T \_ a d j \_ E は端部の制御用温度センサ 8 (リング台下) とウェハ端部の温度差を示している。さらに、C o n t r o l \_ M o d e はプロファイル時の制御モードを示しており、1 ~ 3 のモード (1 : T C を 1 点とする 1 ゾーン制御、2 : T C を 2 点とする 2 ゾーン制御、3 : 2 ゾーン干渉制御) がある。C o m m a n d は 1 の場合書き込みを実行し、0 の場合は実行しな



いことを示している。

【 0 0 4 6 】

上述したパワー比率テーブルの選択に際しては、通常テーブル番号を直接指定するものとし、本実施の形態においては温度によりテーブル番号を自動的に切り替えるプログラムドパワー比率テーブル選択方式を採用する。この方式は、電力（パワー）比率テーブル（1～9）に設定されている使用温度に適した電力（パワー）比率テーブルを選択し、その中の電力（パワー）比率定数を用いてパワー比率制御演算を行う。切り替えは、温度再現性を考慮し、温度設定値あるいはそのときの温度実測値により行う。

【 0 0 4 7 】

例えば、使用温度として500℃が一つ登録されていたとすると、無条件にこれを使用する。また、例えば、使用温度として500℃と700℃が登録されていたとすると、設定温度が500℃～700℃では、これらのパワー比率の線形補間値を使用する。設定温度が800℃の場合は、線形補間せずに700℃のパワー比率を使用する。あるいは、500℃、700℃の時のパワー比率に基き、800℃の時のパワー比率を線形補間し求めてもよい。なお、パワー比率テーブルは図2に示されるNVRAM205に記憶される。

【 0 0 4 8 】

図6に示すセンターゾーン温度設定値（目標値）に対して、図4、図5に示したパワー比率テーブルを使用することにより、温度ランピング制御を行ったときの制御演算結果を下記に示す。

【 0 0 4 9 】

まず、0～100秒までは、センターゾーン温度目標値が500℃であるので、図5に示すパワー比率テーブルを使用する。各ゾーンのパワー比率は100%で一定なので、例えば、センターゾーンにおいて、P演算値=50%、I演算値=30%、D演算値=-10%のときは、(1)のPIDパワー比率制御選択の場合は、ランプ上ゾーン0～8までとランプ下ゾーン0～7までの出力値は全て70%（PID演算値）×100%（パワー比率）=70%となる。

【 0 0 5 0 】

また、(2)のPD-Iパワー比率制御選択の場合は、ランプ上ゾーン0～8までとランプ下ゾーン0～7までの出力値は全て30%(I演算値)×100%(パワー比率)+50%(P演算値)-10%(D演算値)=70%となる。

## 【0051】

次に、100～200秒までは、温度設定値を時々刻々と変化させる制御であるので、使用するパワー比率も時々刻々と変化する。例えば、150秒の時点では、温度目標値は600℃であるので、次のような演算を行う。例えば、センターゾーンにおいて、P演算値=50%、I演算値=30%、D演算値=-10%のときは、PID演算値=50%+30%-10%=70%であり、各ランプへの出力値は次のようになる。なお、センターゾーンについてのみ説明しているが、アウターゾーンについても全く同様である。

## 【0052】

(1)のPIDパワー比率制御選択の場合、

$$(600-500)/(700-500)=1/2 \text{ であり、}$$

ランプ上ゾーン0

$$\text{出力値} = 70\% \times (100\% + 100\%) / 2 = 70\%$$

ランプ上ゾーン1～8

$$\text{出力値} = 70\% \times (106\% + 100\%) / 2 = 72.1\%$$

ランプ下ゾーン0～7

$$\text{出力値} = 70\% \times (106\% + 100\%) / 2 = 72.1\%$$

## 【0053】

また、(2)のPD-Iパワー比率制御選択の場合

ランプ上ゾーン0

$$\text{出力値} = 30\% \times (100\% + 100\%) / 2 + 50\% - 10\% = 70\%$$

ランプ上ゾーン1～8

$$\text{出力値} = 30\% \times (106\% + 100\%) / 2 + 50\% - 10\% = 70.9\%$$

## 【0054】

PIDパワー比率制御とPD-I比率制御は温度制御状態によって切り替えて使用し、例えばPIDパワー比率制御は、外乱の無い状態である温度安定時、ラ

ンプアップ時に用い、一方、P D - I パワー比率制御は外乱発生時であるウェハロード時、アンロード時等に用いられる。

#### 【 0 0 5 5 】

図 7 は P I D の使用状態と P D - I の使用状態を示す図である。

図 7 において、横軸は時間を示し、時系列的にウェハ挿入（ウェハロード）、ランプアップ、プロセス開始、ランプダウン、ウェハ払い出し（ウェハアンロード）が行われる。縦軸は炉内温度を示している。同図において、点線 S は温度設定値を示しており、炉内温度は本来この温度設定に沿うよう制御される。また、図において、A 1, A 2 で示すグラフは P D - I パワー比率制御を 2 回行った場合の温度実測値であり、B 1, B 2 で示すグラフは P I D パワー比率制御を 2 回行った場合の温度実測値である。

#### 【 0 0 5 6 】

この図より明らかなように、ウェハ挿入時の外乱発生時は、P D - I パワー比率制御を用いる方が P I D パワー比率制御を用いるよりも再現性が良好な（バラツキが小さい）結果を示している。これは、熱容量を有する温度の低いウェハが炉内に入ってくることによって炉内温度が大きく変化するという外乱発生により、P、D 演算出力値は大きく変化するのに対して、I 演算出力値はそれほどの変化を受けないため、パワー比率は I 演算出力値のみに乗じ、P と D 演算出力値に加算するようにした方が再現性が良くなる、即ち、処理バッチ間のウェハの熱履歴のバラツキが小さく抑えられることを意味している。一方、ランプアップ制御時、反応処理時等の外乱の無い状態である温度安定時には P I D パワー比率制御を用いた方が、応答性に優れ、且つ安定した結果が得られていることが理解される。

#### 【 0 0 5 7 】

従って、外乱が無い状態時には P I D 演算出力値にパワー比率を乗じる一方、ウェハ挿入時などのような外乱発生時には I 演算出力値にのみパワー比率を乗じて制御出力とすることにより、より処理バッチ間のウェハ温度履歴の均一化が図れることとなる。

なお、I 演算出力値に乘じるパワー比率と P、D 演算出力値に乘じるパワー比率を異ならせるようにし、例えば外乱発生時には、I 演算出力値に乘じるパワ

一比率を P、D 演算値出力値に乘じるパワー比率よりも大きく設定するようにしてもよい。

#### 【 0 0 5 8 】

図 8 は P D - I パワー比率制御を用いた場合において、パワー比率テーブルの切り替えのための温度にそのときの実測値を用いた場合と温度設定値を用いた場合の炉内温度をそれぞれ 2 回実測した結果を示すグラフである。図 8 において、点線は温度設定値を示し、C 1、C 2 は温度設定値を使ってパワー比率を切り替えた場合を示し、D 1、D 2 はそのときの温度実測値を使ってパワー比率を切り替えた場合を示している。

#### 【 0 0 5 9 】

図 8 に示されるように、テーブルの切り替えはバッチ間において外乱にバラツキがある場合（ウェハ挿入時）は、温度設定値を用いる方が温度再現性が向上している。一方、バッチ間において外乱のバラツキが小さいか、無い場合は、温度実測値を用いた方が温度収束が早く、安定性に優れるということが理解される。

#### 【 0 0 6 0 】

以上に説明した実施の形態においては、枚葉エピタキシャル装置の温度制御工程として、ウェハ挿入（ロード）からウェハ払い出し（アンロード）までを示したが、枚葉エピタキシャル装置の炉内温度の全制御工程は、図 9 に示されるようになる。図 7 や図 8 に示したグラフは図 9 のロードからベーク工程 S 1、堆積工程 S 2、アンロードまでを示すものである。エピタキシャル装置では、この他、チャンバクリーン工程 S 3 がある。

#### 【 0 0 6 1 】

図 9 に示されるように、ウェハ搬送時のプロセスチャンバの温度は搬送系の耐熱性とウェハの熱ショックによるスリップの双方を考慮して上限が決定されている。まず、ウェハをロードした後、ウェハ温度を 1 1 3 0℃まで昇温する。そして水素ベークを行い自然酸化膜の除去と表面欠陥の除去が行われる。引き続きトリクロルシランによるエピタキシャル成長を行って堆積処理が行われる。その後冷却しウェハを取り出す。その後のチャンバのクリーン工程においては、再度昇温し、サセプタのウェハ外側やチャンバの内壁に堆積した不要な生成物を H C 1

ガスを流してクリーニングする。エピタキシャル膜厚にもよるがHClによるクリーニングは1～5枚のエピタキシャル成長毎に行われる。そして、以上のような処理を繰り返して半導体デバイスとして用いられるエピタキシャル成長ウェハが製造される。

【0062】

【発明の効果】

上述したように本発明によれば、プロセス時において、複数ゾーンの各部の温度を検出することなく、一部の温度を用いることにより、設定されるどのような温度領域においても、基板面内の均一な温度制御を可能とすることができ、もって品質向上を図れる半導体製造装置の温度制御方法、このような温度制御方法を行う半導体製造装置、およびこのような温度制御方法を用いて製造される半導体デバイスを得ることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施の形態における枚葉エピタキシャル装置の反応室を示す側面図である。

【図2】

本発明の実施の形態におけるランプコントローラの構成を示すブロック図である。

【図3】

実施の形態における制御方式を説明するためのブロック図である。

【図4】

炉内温度が700℃のときのパワー比率テーブルを示す図である。

【図5】

炉内温度が500℃のときのパワー比率テーブルを示す図である。

【図6】

センターゾーン温度設定値を示す図である。

【図7】

PIDの使用状態とPDIの使用状態を示す図である。

【図 8】

パワー比率テーブルの切り替えのための温度に現在の実測値を用いた場合と現在の温度設定値を用いた場合の炉内温度を示すグラフである。

【図 9】

枚葉エピタキシャル装置の炉内温度の全制御工程を示す図である。

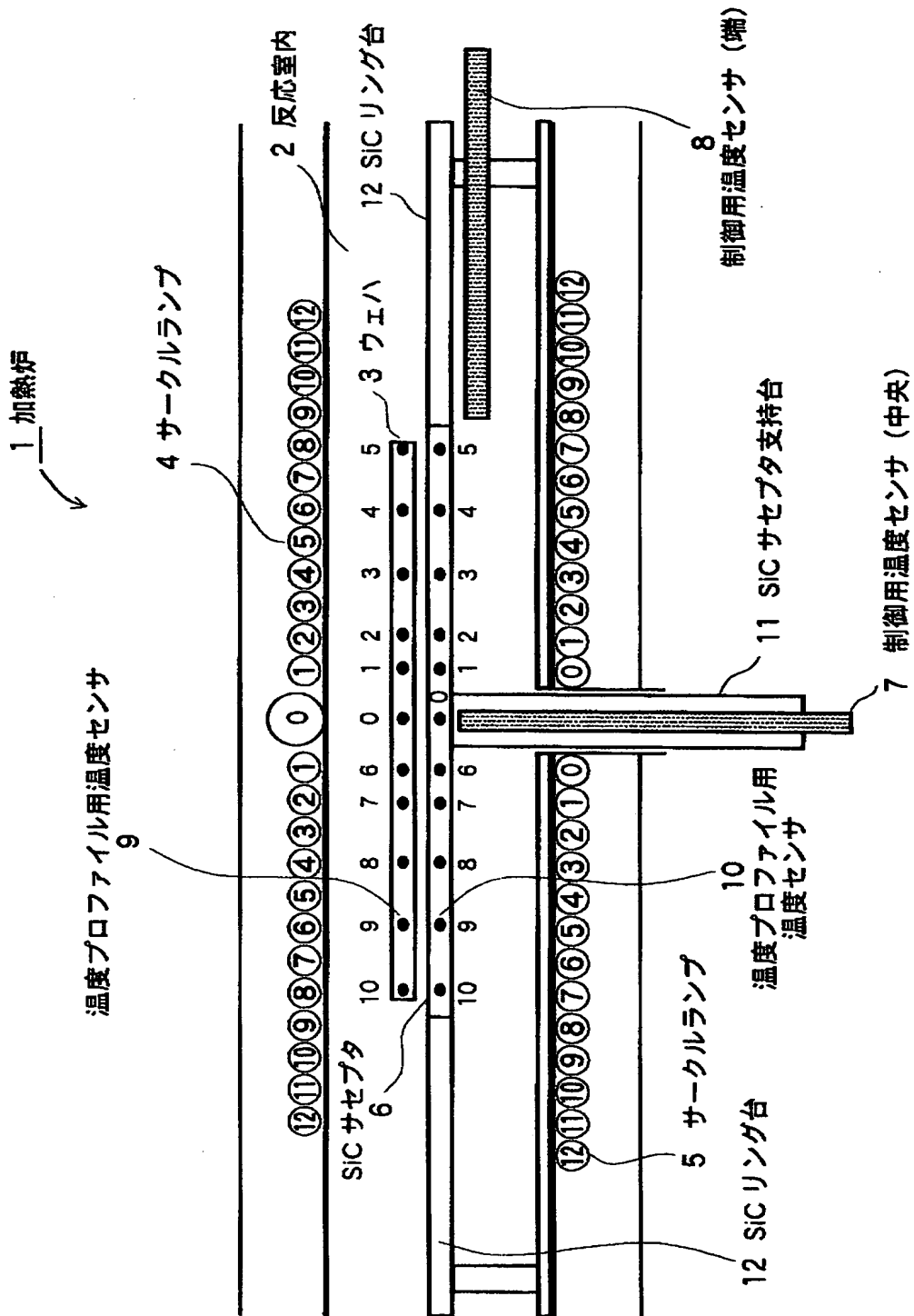
【符号の説明】

- 1 加熱炉
- 2 反応室内
- 3 ウェハ
- 4, 5 サークルランプ
- 6 サセプタ
- 7, 8 制御用温度センサ
- 9, 10 温度プロファイル用温度センサ
- 20 ランプコントローラ

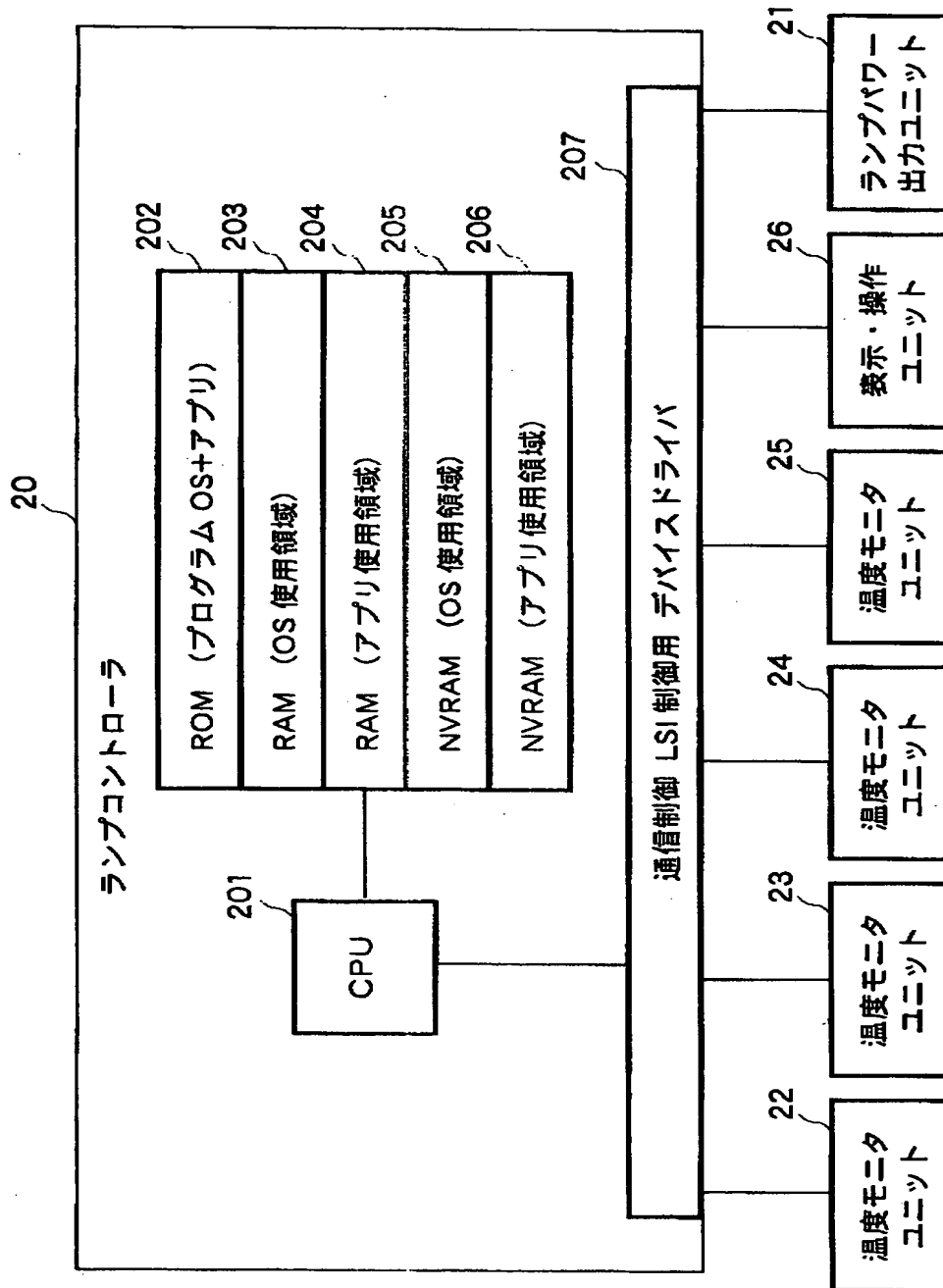
【書類名】

図面

【図 1】

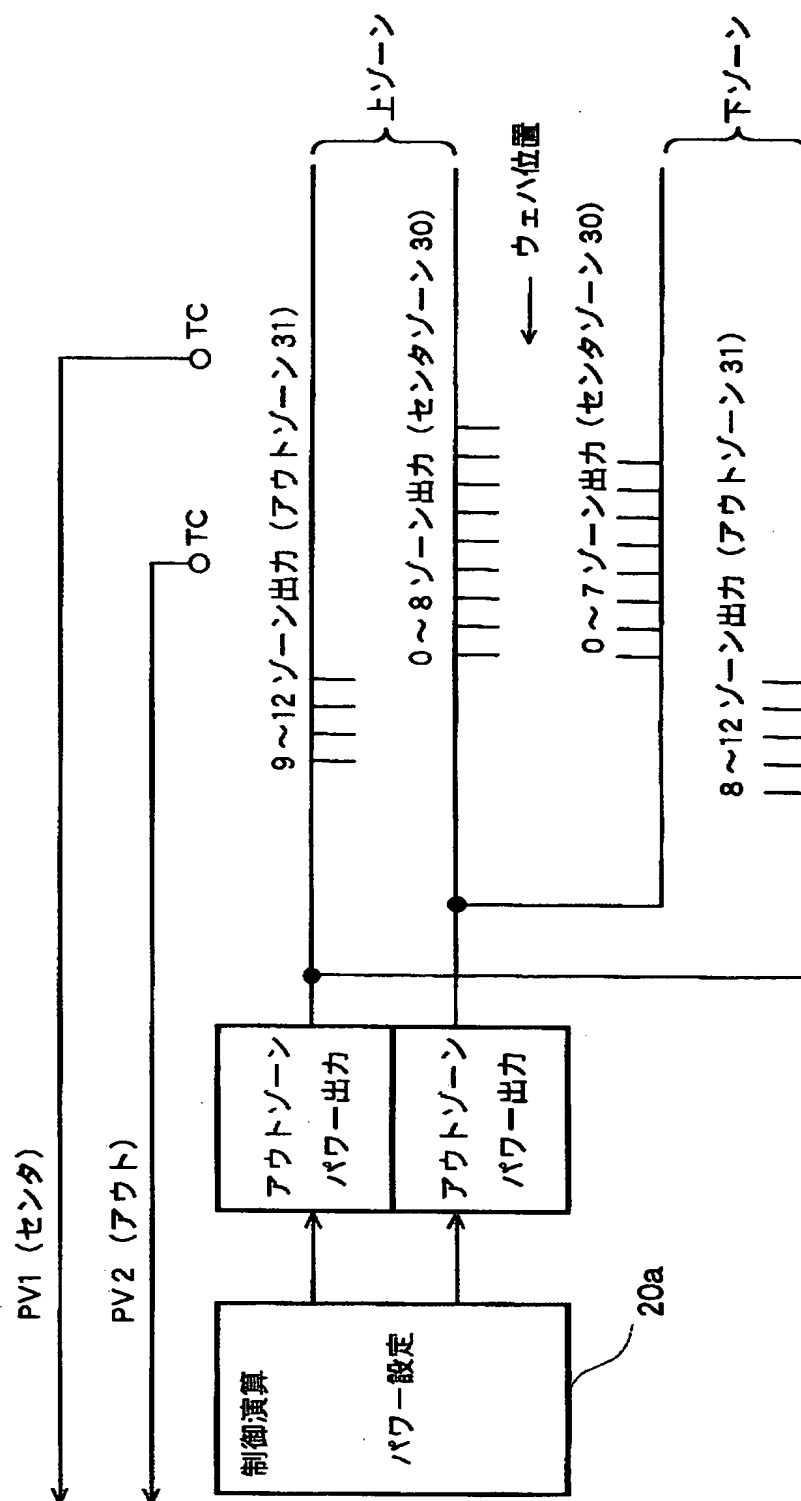


【図 2】





【図 3】



【図 4】

700℃ パワー比率テーブル

21. Local PowerRate Operation			
TBL	No.	2	
SV			0700.0
	RateH1-13	RateL2-14	
1	100.0	100.0	
2	106.0	106.0	
3	106.0	106.0	
4	106.0	106.0	
5	106.0	106.0	
6	106.0	106.0	
7	106.0	106.0	
8	106.0	106.0	
9	106.0	115.0	
0	110.0	115.0	
1	110.0	115.0	
2	110.0	115.0	
3	110.0	115.0	
T_adj_C	+000.0		
T_adj_E	+000.0	Control_Mode	1
Command	0		

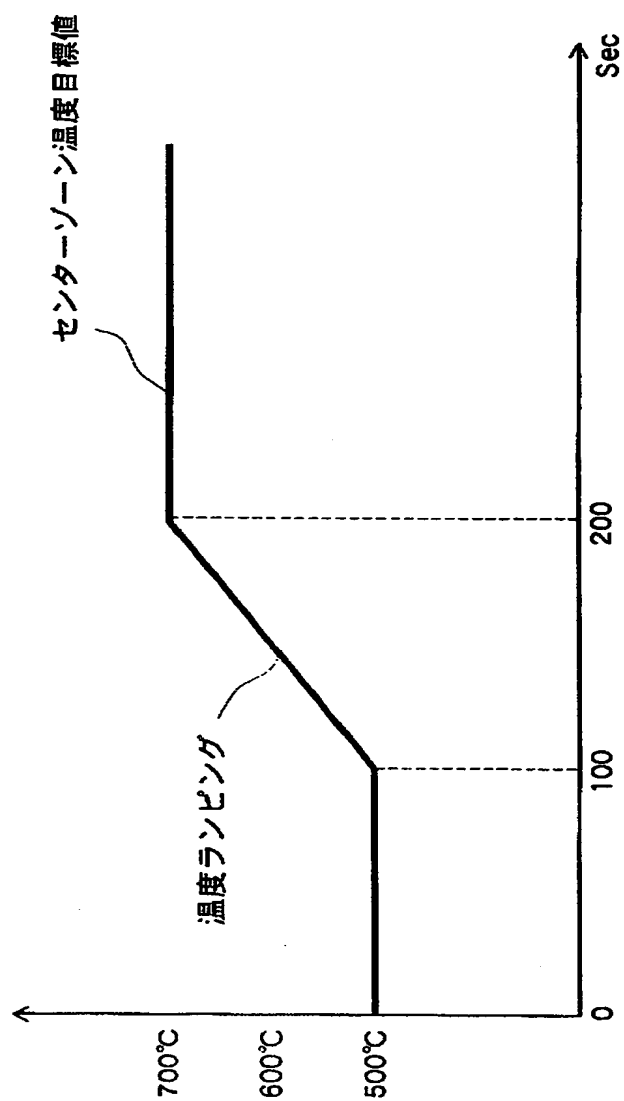
【図 5】

500℃ パワー比率テーブル

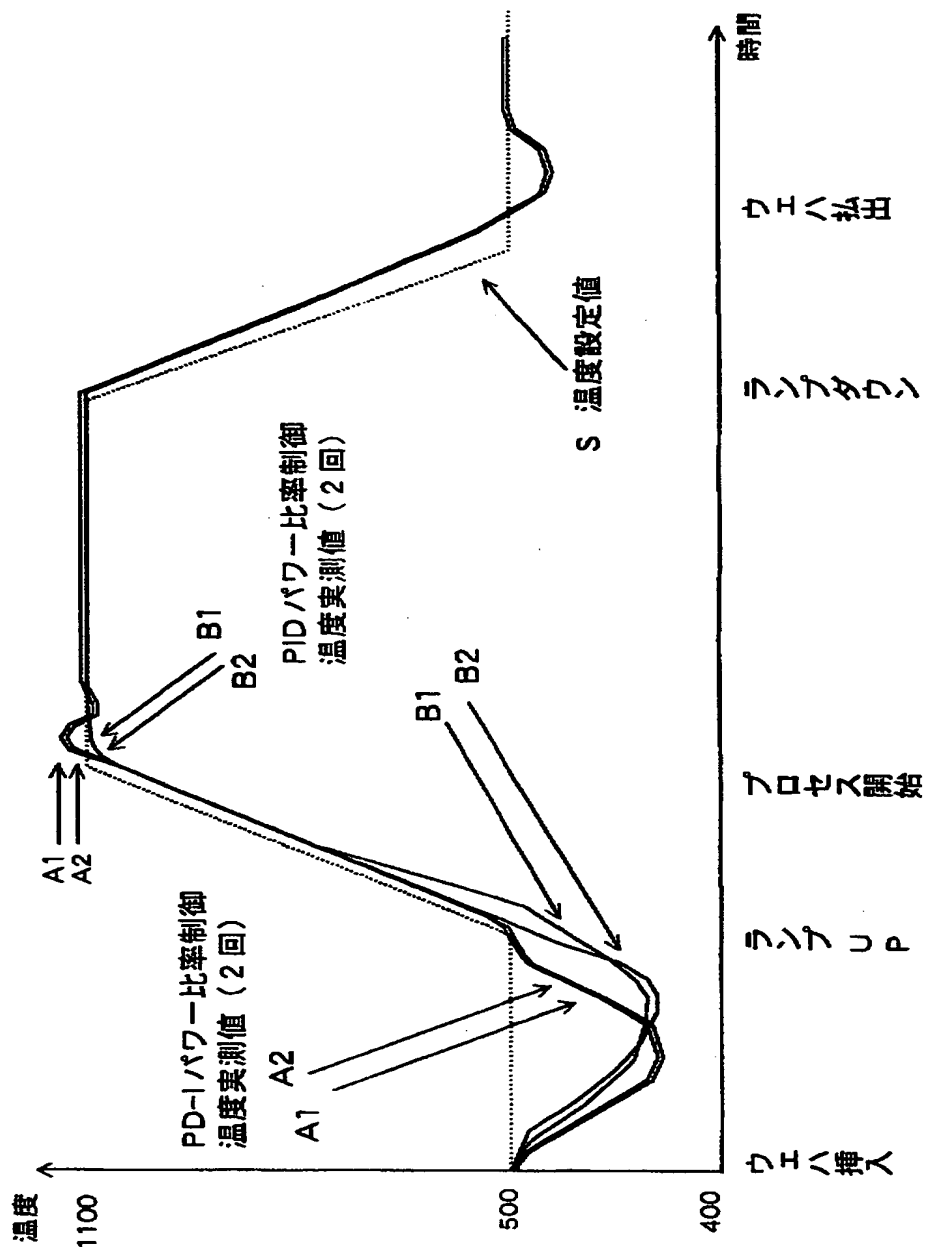
21. Local PowerRate Operation			
TBL	No.	1	
SV			0500.0
	RateH1-13	RateL2-14	
1	100.0	100.0	
2	100.0	100.0	
3	100.0	100.0	
4	100.0	100.0	
5	100.0	100.0	
6	100.0	100.0	
7	100.0	100.0	
8	100.0	100.0	
9	100.0	100.0	
0	100.0	100.0	
1	100.0	100.0	
2	100.0	100.0	
3	100.0	100.0	
T_adj_C	+000.0		
T_adj_E	+000.0	Control_Mode	1
Command	0		

【図6】

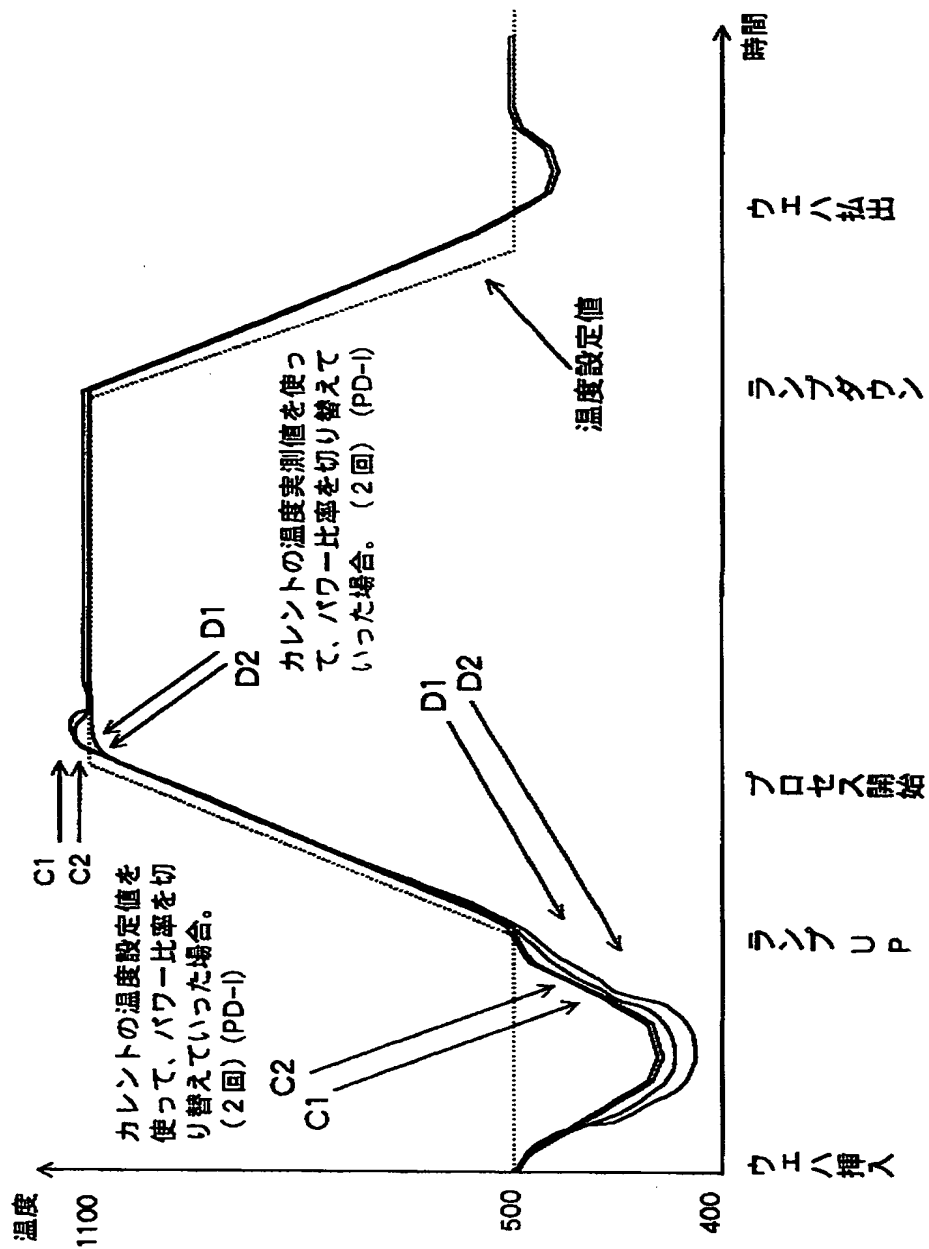
センターゾーン温度目標値



【図 7】

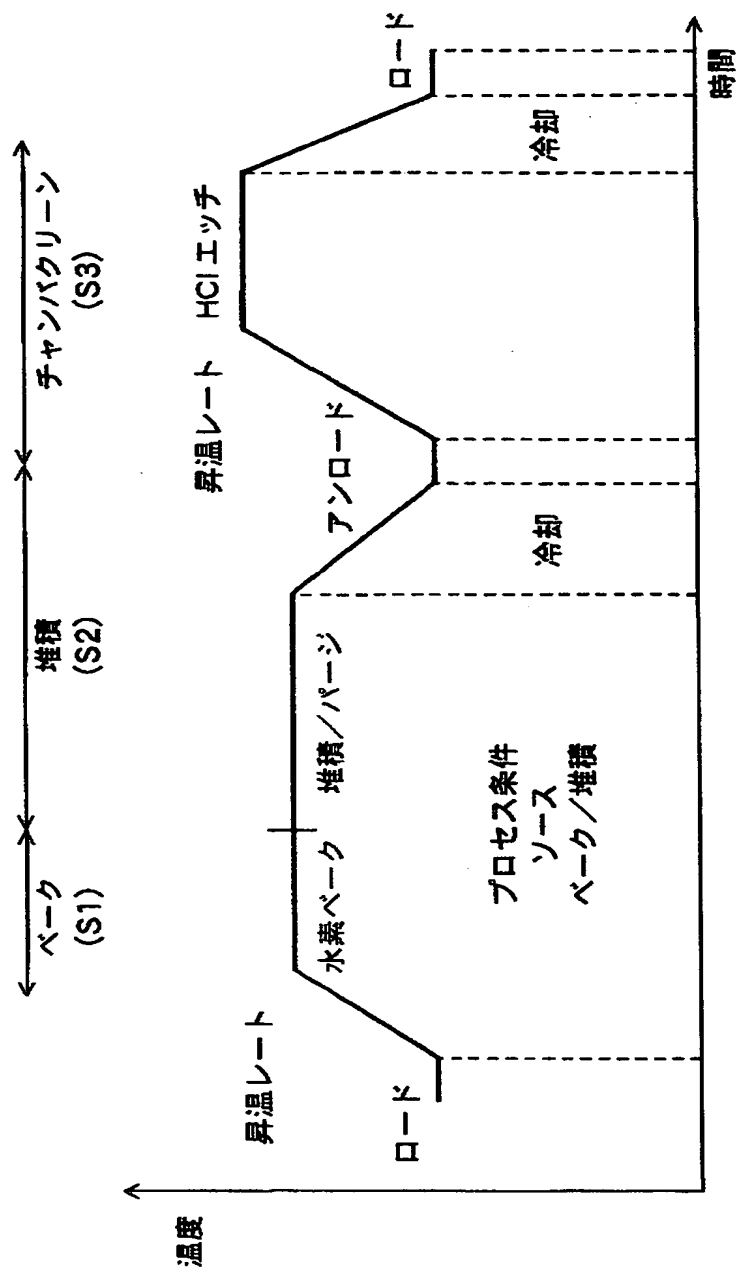


【図 8】



【図9】

プロセスシーケンスの一例



【書類名】            要約書

【要約】

【課題】    複数ゾーンの各部の温度を検出することなく、一部の温度を用いることにより、設定されるどのような温度領域においても、基板面内の均一な温度制御を可能とすることができる半導体製造装置の温度制御方法を得る。

【解決手段】    複数ゾーンに対応する複数の加熱源を備えた反応室を有する半導体製造装置の温度制御方法において、前記反応室の異なる複数の温度に対応して、前記複数の加熱源それぞれに出力するパワーの比率をパワー比率として定め、前記複数の温度に対応して定められた前記複数の加熱源それぞれのパワー比率を用いて各加熱源のパワー制御を行って温度制御を行うようにした。

【選択図】            図 1

特 2 0 0 0 - 0 1 9 9 3 4

## 認定 - 付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 0 - 0 1 9 9 3 4
受付番号	5 0 0 0 0 0 9 3 6 0 3
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0 0 9 4
作成日	平成 1 2 年 1 月 3 1 日

### <認定情報・付加情報>

【提出日】	平成12年 1月28日
-------	-------------

次頁無



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001122]

1. 変更年月日 1993年11月 1日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都中野区東中野三丁目14番20号

氏 名 国際電気株式会社